

Я. А. ИВАКИН, С. Н. ПОТАПЫЧЕВ
СПИИРАН, АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», Санкт-Петербург

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕКИНГА И ЕЁ ОПТИМИЗАЦИЯ

Информационная технология геохронологического трекинга это совокупность процессов накопления и интеграции данных о географическом перемещении сущностей за установленный период времени с представлением результатов в виде обобщающего графа в ГИС. Гипотезы об устойчивых тенденциях в миграции представимы как подграфы указанного графа. Проверка таких гипотез сведется к поиску и оценке статистической значимости изоморфизма соответствующих графов. Полнофункциональное развитие компьютерной интерпретации методов теории графов на базе геохронологического трекинга способно обеспечить новое качество ретроспективных исследований с использованием современного ГИС-инструментария. Оно выражается в предоставлении возможности исследователю использовать количественные методы соответствующего логико-аналитического аппарата в своей предметной области. Рассмотрению качественно новых возможностей такого подхода и рационализации соответствующего алгоритмического аппарата посвящен этот доклад.

Процесс геохронологического трекинга представляет собой совокупность способов сбора первичной ретроспективной, хронологической информации и последовательности приемов обобщения геохронологических треков некоторых исследуемых сущностей (объектов, артефактов или их совокупностей) на электронной карте в геоинформационной системе (ГИС). Геохронологический трекинг, как эффективная информационная технология работы с цифровыми картографическими наборами пространственных данных, нашла широкое применение в ретроспективных исследованиях закономерностей в перемещении тех или иных артефактов за установленный период времени. Программные средства геохронотрекинга становятся одним из наиболее популярных пользовательских приложений в интегрируемых в состав геоинформационных систем пакетов прикладных программ. Соответственно геохронологический трек есть интеграция хронологических и географических данных в виде графа, соединяющего географические точки нахождения указанных исторических сущностей (Вершины трека имеют строгое историко-географическое определение, дуги носят характер условно-логической связи). В статьях [1, 2] дано комплексное описание узкоспециализированной программной технологии геохронологического трекинга, а в работе [3] показаны возможности применения аналитического аппарата теории графов и статистических исследований на базе геохронологического трекинга.

Выполнение разработки апробационных примеров построения геохронологических треков по данным из [4, 5] для различных групп исторических личностей позволило перейти к выводу, что финишная версия графа для достаточно представительной выборки исторических сущностей (личностей, объектов и пр.), как правило, имеет высокосложную и полно- / высоко- связанную структуру. Такая структура может быть строго упорядочена. Именно на основе такого итогового графа геохронологического трекинга становится возможным исследование различных миграционных процессов, выявления некоторых частных исторических закономерностей в перемещении социальных групп, статистически подтвержденная проверка исследовательских гипотез о характере миграций. Существо, концептуальная модель и методологический аппарат таких исследований детально описаны в статье [6].

Концептуальная идея проверки исследовательских гипотез заключается в следующем: итоговый граф геохронотрекинга представляется как граф-базис в структуре которого выявляется подграф изоморфный заданному, т.е. устанавливается наличие взаимно однозначного отображения одного графа на подграф другого, при котором сохраняется отношение инцидентности [7]. Граф, на изоморфность к которому в составе базового графа геохронологического трекинга определяется подграф, топологически описывает ту или иную определенную гипотезу исследования об устойчивой особенности в перемещениях исторических личностей, объектов или других сущностей в географическом пространстве. Далее определяется степень устойчивости в

признании гипотезы исследования о выявляемой особенности в перемещениях с использованием статистического аппарата доверительной вероятности и доверительных интервалов.

Программно-алгоритмическая реализация проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга представляет собой сложную и итеративную вычислительную процедуру. Её практическое воплощение может иметь экспоненциальную сложность и приводить к трансвычислительному характеру решения задачи при определенных входных данных и граничных условиях. Именно этот факт диктует необходимость обоснования и разработки рационального или оптимального алгоритма проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга, т. е. такой локализации вычислительного алгоритма решения задачи определения всех изоморфных вложений в граф геохронотрека, которая позволяет за конечное число подстановок (итераций) определить все комбинации вложений изоморфных заданному графу-гипотезе и не сделать решение трансвычислительным.

Вместе с тем, особенности алгоритмизации указанной процедуры геохронотрекинга во многом определяют результативность и точность её применения в процессе прикладных исследований на базе ГИС. Очевидно, что высокая вычислительная и временная сложность базового алгоритма определения изоморфного вложения в граф предъявляет высокие требования именно к корректной программной реализации указанной процедуры при её практическом внедрении. Этот факт определил необходимость задания соответствующей оптимизационной задачи, установления граничных условий её решения и алгоритмизации поиска соответствующих экстремумов. Постановка такой оптимизационной задачи должна учитывать ограничения, налагаемые реальными условиями объекта исследования – предметной областью ретроспективного исследования, примером формализованного описания которых могут служить [8, 9].

Указанная оптимизация позволяет обеспечить возможность вариабельности в применении наилучшим образом алгоритма проверки гипотез ретроспективных исследований на основе геохронологического трекинга для различных комбинаций входных данных и требований к точности, ресурсоемкости и скорости алгоритма получения выходных данных. Такая оптимизация способствует широкому внедрению и автоматизации геохронотрекинга, как прикладного метода научных исследований. Рассмотрение математических и системологических сторон представленной оптимизации описанного алгоритма статистической проверки гипотез ретроспективного исследования на основе геохронологического трекинга в ГИС и есть предмет проведенного частного исследования. В рамках такого представления определены основные параметры и условия оптимальности рассматриваемого алгоритма, а также учтены результаты последних разработок по тематике геохронологического трекинга, например, таких как [10, 11].

Синтез указанного обобщенного алгоритма поиска в граф-базисе подграфа-вложения изоморфного заданному, применительно к специфике входных данных и граничных условий задачи проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга в ГИС, а также обоснование путей его оптимизации есть предмет рассмотрения данного доклада.

Оптимизация алгоритма реализации проверки гипотез ретроспективных исследований на основе геохронологического трекинга позволяет добиться роста результативности и точности её применения в процессе прикладного анализа на базе ГИС эффективности различных поставочных сетей, планирования коммуникаций, систем логистико-пространственной организации инфраструктуры различного назначения и пр. Также очевидна перспективность дальнейших усилий по развитию методологических средств и прикладной алгоритмики геохронологического трекинга, к которым можно отнести внедрение и интеграцию соответствующих информационных технологий искусственной интеллектуальности (технологии экспертных систем, систем нечеткой логики, технологий интеллектуального анализа данных Data Mining и другие) в соответствующие ГИС-приложения. Указанная перспективность дает основание прогнозировать дальнейшее расширение области применения аппарата геохронологического трекинга в программных инструментах поддержки управленческих решений базирующихся на анализе накопленных фактов применения соответствующих объектов (артефактов).

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-07-00006

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ивакин Я.А.** Информационная технология геохронологического трекинга для проверки гипотез ретроспективных исследований использования водного транспорта / Я.А. Ивакин, С.В. Потапычев //Вестник Государствен-

- ного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 2. С. 452–461. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461.
2. **Потапычев С.Н.** Геохронологический трекинг – специализированный ГИС-инструментарий исторического исследования [Текст] // Ивакин Я.А., Потапычев С.Н. // Журнал «Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании», 2016; № 1–2, с. 3–11.
 3. **Нечепуренко М.И., Попков В.К., Майнагашев С.М., Кауль С.Б., Проскураков В.А., Кохов В.А., Грызунов А.Б.** Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 515 с.
 4. РГВИА – фонд Ф.400 Главного штаба Военного министерства.
 5. РГВИА – фонд Ф.409 "Послужные списки, аттестации и наградные листы офицеров русской армии".
 6. **Ивакин Я.А., Потапычев С.Н., Ивакин В.Я.** Проверка гипотез исторического исследования на базе геохронологического трекинга // Историческая информатика. 2018. № 2. С.96–102. DOI: 10.7256/2585-7797.0.0.25344. URL: http://e-notabene.ru/istinf/article_25344.html
 7. **Зыков А.А.** Основы теории графов. М: Вузовская книга, 2004. 664 с.
 8. **Коваленко В.В.** Состояние и мировые тенденции развития систем подводного наблюдения. // Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат» – 2016. №2(10), с.18–33.
 9. **Коваленко В.В.** Океанологическое обеспечение распределенных систем подводного наблюдения// Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат» – 2016. №2(10), с.68-79.
 10. **Deepak A., Tobias F.** Average-Case Analysis of Incremental Topological Ordering // Discrete Applied Mathematics. 2016. vol. 158. no. 4. pp. 240–250.
 11. **Ammar A.B.** Query optimization techniques in graph Databases // International Journal of Database Management Systems (IJDBMS). 2016. vol. 8. no. 4. 14 p.

Y.A. Ivakin (SPIIRAS, JSC “Concern “OCEANPRIBOR”, St. Petersburg),

S.N. Potapichev (SPIIRAS, JSC “Concern “OCEANPRIBOR”, St. Petersburg)

Refinement Algorithm of Hypotheses Testing Research Based on Geochronological Tracking

Geochronological tracking is an effective information technology for digital cartographic spatial data sets processing. It is widely known in retrospective patterns research about geographic relocation of figures, or any other units for a given time interval. Software component of geochronological tracking is becoming one the most popular GIS-integrated application. Hypotheses on the stable tendencies in migration and traffic control could be represented as the GIS-based refinement procedure. Dispatching for geospatial processes of transport with implementation of geochronological tracking tools is tightly related with completion of more developed model of data processing in the automated vessel traffic control system. The mathematic and algorithmic apparatus defines the effectiveness of its application. This requires a specific refinement task and searching for corresponding extremums. The refinement allows to provide thorough implementation and automation of geochronological tracking as an applied scientific method for traffic control. The report is dedicated to the thorough consideration of this feature.